PeAPA | **Publicación Electrónica**
ASOCIACIÓN PALEONTOLÓGICA ARGENTINA

www.peapaleontologica.org.ar

Propuesta metodológica de excavación paleontológica para vertebrados continentales en áreas acotadas con alta humedad

JORGE CAMPOS-MEDINA[1,2]
MARTÍN CHÁVEZ-HOFFMEISTER[3]
PABLO OYANADEL-URBINA[1,2]
JORGE BOLOMEY-BADILLA[2]
ESTEFANIA FERNANDEZ[4]
ESTEBAN RODRÍGUEZ[2]
CAROLINA SANDOVAL[2,5]
MATIAS GONZÁLEZ[6]
LIZ VILCHES[7]
TOMAS SOTO[1,2]
JAVIERA BRAVO[6]

1. Laboratorio de Paleobiología (PaleoLab), Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Av. Bernardo Ossandón 877, 1781681 Coquimbo, Chile.
2. Therium Limitada, Paleontología y Patrimonio. Pasaje 8 #51, 3342245 Curicó, Chile.
3. Corporación para la Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN - Atacama). Prat 58, 1571310 Caldera, Chile.
4. PaleosChile, Laboratorio Sur. Rodeo del Colmenar L14i, Km 8, 5090000 Valdivia, Chile.
5. Laboratorio de Paleoecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Las Palmeras 3425, 8320000 Ñuñoa, Santiago, Chile.
6. Programa de Magíster en Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Campus isla Teja, 5090000 Valdivia, Chile.
7. Programa de Magister en Arqueología, Universidad de Chile. Avenida Capitán Ignacio Carrera Pinto, 7750000 Santiago, Chile.

Recibido: 14 de octubre 2022 - **Aceptado:** 26 de marzo 2023 - **Publicado:** 26 de julio 2023

Para citar este artículo: Jorge Campos-Medina, Martín Chávez-Hoffmeister, Pablo Oyanadel-Urbina, Jorge Bolomey, Estefania Fernandez, Esteban Rodríguez, Carolina Sandoval, Matias González, Liz Vilches, Tomas Soto y Javiera Bravo (2023). Propuesta metodológica de excavación paleontológica para vertebrados continentales en áreas acotadas con alta humedad. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina* 23 (2): 65–80.

Link a este artículo: http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.26.03.2023.445





ISSN 2469-0228

Asociación Paleontológica Argentina
Maipú 645 1° piso, C1006ACG, Buenos Aires
República Argentina
Tel/Fax (54-11) 4326-7563
Web: www.apaleontologica.org.ar

Pe APA | Publicación Electrónica
ASOCIACIÓN PALEONTOLÓGICA ARGENTINA
Año 2023 - 23(2): 65–80 | ARTÍCULO

PROPUESTA METODOLÓGICA DE EXCAVACIÓN PALEONTOLÓGICA PARA VERTEBRADOS CONTINENTALES EN ÁREAS ACOTADAS CON ALTA HUMEDAD

JORGE CAMPOS-MEDINA[1,2], MARTÍN CHÁVEZ-HOFFMEISTER[3], PABLO OYANADEL-URBINA[1,2], JORGE BOLOMEY-BADILLA[2], ESTEFANIA FERNANDEZ[4], ESTEBAN RODRÍGUEZ[2], CAROLINA SANDOVAL[2,5], MATIAS GONZÁLEZ[6], LIZ VILCHES[7], TOMAS SOTO[1,2] Y JAVIERA BRAVO[6]

[1]Laboratorio de Paleobiología (PaleoLab), Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Av. Bernardo Ossandón 877, 1781681 Coquimbo, Chile. *jorge.campos.medina@ceaza.cl*; *pablo.oyanadel@ceaza.cl*; *tomas.soto@ceaza.cl*

[2]Therium Limitada, Paleontología y Patrimonio. Pasaje 8 #51, 3342245 Curicó, Chile. *biobolomey@gmail.com*; *estebanrodriguezsepulveda@gmail.com*; *carolina.sandoval@ug.uchile.cl*

[3]Corporación para la Investigación y Avance de la Paleontología e Historia Natural de Atacama (CIAHN - Atacama). Prat 58, 1571310 Caldera, Chile. *martinchavez@ciahn.cl*

[4]PaleosChile, Laboratorio Sur. Rodeo del Colmenar L14i, Km 8, 5090000 Valdivia, Chile. *paleoschile@gmail.com*

[5]Laboratorio de Paleoecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Las Palmeras 3425, 8320000 Ñuñoa, Santiago, Chile.

[6]Programa de Magíster en Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Campus isla Teja, 5090000 Valdivia, Chile. *javiera.bravo@alumnos.uach.cl*; *m.gonztejos@gmail.com*

[7]Programa de Magister en Arqueología, Universidad de Chile. Avenida Capitán Ignacio Carrera Pinto, 7750000 Santiago, Chile. *liz_bust@hotmail.com*

 **JCM:** https://orcid.org/0000-0001-8996-185X; **MCH:** https://orcid.org/0000-0001-5940-5983; **POU:** https://orcid.org/0009-0001-9826-5052; **JBB:** https://orcid.org/0009-0002-7995-6365; **CS:** https://orcid.org/0009-0002-6323-0498; **LV:** https://orcid.org/0009-0003-6474-6899

Resumen. El presente artículo tiene como objetivo dar a conocer un caso de estudio donde se aplicaron metodologías para la excavación de restos de vertebrados fósiles en áreas acotadas, en el marco del proceso de monitoreo ambiental en Chile. Este caso resulta de particular interés debido a que se realizó bajo condiciones de alta humedad, durante un periodo de aproximadamente un mes en el que se procesaron ocho toneladas de sedimento. La metodología aplicada consistió en la excavación manual de niveles fosilíferos a través de desmonte lateral de planos horizontales con cuadrículas, desde los niveles superiores hasta la base del estrato portador, con recuperación de fósiles por medio de excavación de planta y bochón seco. Adicionalmente se aplicó la metodología estándar, de acuerdo con el organismo estatal, para la recuperación de microvertebrados mediante lavado y tamizado. Todo el proceso de rescate permitió la extracción de 82 piezas de las cuales el 76% fueron recuperadas *in situ*, mientras que el 24% fue recuperada por la metodología estándar. En base en lo anterior, se ofrecen recomendaciones para mejorar las propuestas metodológicas para rescate y monitoreo ambiental, ofreciendo una base comparativa para evaluar la efectividad de las técnicas empleadas en futuras labores de rescate.

Palabras clave. Paleontología. Metodología de excavación. Rescate paleontológico. Fósiles de vertebrados. Extracción de vertebrados fósiles.

Abstract. METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR PALEONTOLOGICAL EXCAVATIONS OF CONTINENTAL FOSSIL VERTEBRATES IN SMALL WET AREAS. The aim of this article is to present a case study in the application of methodologies for the excavation of fossil vertebrate remains in restricted areas, within the framework of the environmental monitoring process in Chile. This study is of particular interest because it was carried out under high humidity conditions, during a period of approximately one month in which eight tons of sediment were processed. The applied methodology consisted in the manual excavation of fossiliferous levels through lateral clearing of horizontal planes with grids, from the upper levels to the base of the carrier stratum, with recovery of fossils through excavation of the layer and dry wrap. Additionally, the standard methodology for recovery of microvertebrates by washing and sieving was applied. The entire rescue process allowed the extraction of 82 paleontological pieces, of which 76% were recovered *in situ*, while 24% were recovered using the standard methodology. Based on the above, recommendations are offered to improve the methodological proposals for rescue and environmental monitoring, offering a comparative basis to evaluate the effectiveness of the techniques used in future rescue efforts.

Key words. Paleontology. Excavation methodology. Paleontological rescue. Fossil vertebrates. Extraction of fossil vertebrates.

De acuerdo con la legislación patrimonial en Chile, los fósiles están protegidos y su excavación se encuentra regulada por la Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales, bajo la categoría de Monumento Paleontológico y el Decreto Supremo N° 484 correspondiente al reglamento sobre excavaciones y/o prospecciones arqueológicas, antropológicas y paleon-

tológicas. A su vez, el artículo 22 de la misma ley establece que toda excavación debe contar con autorización previa por parte del Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), entendiendo por excavación "*toda alteración o intervención de un sitio fosilífero, incluyendo recolecciones de superficie, pozos de sondeo o excavaciones sistemáticas para la extracción de restos fósiles*" (Ley 17.288, 1970). La normativa establece que los permisos de excavación solo podrán otorgarse a investigadores con preparación acreditada y respaldo institucional. El requerimiento de autorización para intervenir los sitios paleontológicos aplica tanto a proyectos de investigación científica, como a aquellos proyectos de inversión cuyas obras se emplazan en áreas fosilíferas. En consecuencia, el aumento de proyectos que requieren realizar intervenciones en sitios paleontológicos promovieron el surgimiento de consultoras patrimoniales que ofrecen asesoría y servicios relacionados con la excavación y rescate de restos paleontológicos, los cuales ocurren durante la ejecución de dichos proyectos.

Este mercado incipiente de servicios patrimoniales ha creado un nuevo nicho laboral para los paleontólogos del país, que contrasta con la escasez de programas de estudio nacionales orientados a formar profesionales y técnicos en el área, resultando en una gran disparidad en las metodologías de trabajo de campo y gabinete.

En paleontología, si bien existen métodos estandarizados para la recolección de muestras sedimentarias (Wright *et al.*, 1984; Whitlock y Larsen, 2001; Frew, 2014) o la búsqueda de microfósiles (Faegri e Iversen, 1989; Green, 2001; Brodersen *et al.*, 2008; Martel-Cea *et al.*, 2021), estos no son comparables con los métodos universales y sistemáticos que se utilizan en otras disciplinas similares (*e.g.*, arqueología) (Gallardo y Cornejo, 1986; Mora *et al.*, 2014; Morín de Pablos *et al.*, 2014; Schávelzon, 2015; Chechi, 2020; Palacios, 2020). A nivel local, el CMN ha generado documentación que establece los contenidos mínimos requeridos para los informes técnicos derivados del trabajo de campo paleontológico (Rincón y Gutstein, 2016). Sin embargo, estos lineamientos no profundizan en las metodologías de excavación, las cuales deben ser propuestas por cada equipo que solicita un permiso.

La falta de guías metodológicas específicas o casos de estudios publicados dificultan el acceso a la información necesaria para garantizar estándares mínimos de prácticas en campo, resultando en amplias discrepancias en los métodos utilizados. En este sentido, debido a las múltiples variables involucradas en el proceso de excavación (*e.g.*, matriz, grado de litificación, tipo de elemento preservado, grado de fragmentación, entre otros), las metodologías para realizar una excavación paleontológica deben ser flexibles y ajustarse a las necesidades y recursos disponibles en cada situación. Dado que la experiencia adquirida en el trabajo de campo es fundamental para poder establecer la metodología más conveniente a aplicar en cada caso, es particularmente útil dar a conocer los procedimientos y dificultades halladas durante un proyecto para el perfeccionamiento de las prácticas laborales y la formación de nuevos profesionales en la disciplina.

Como se mencionó con anterioridad, durante los últimos años en Chile se ha visto un alza significativa en la demanda por consultoría en el ámbito paleontológico, asociada a los requerimientos ambientales exigidos para proyectos de inversión (Fouquet *et al.*, 2018). Esto generó una oportunidad única para el desarrollo de la paleontología de campo, debido a la inversión y sinergia con los procesos constructivos, permitiendo explorar metodologías y técnicas que en otros contextos no serían posibles (Fouquet *et al.*, 2018). Estos proyectos usualmente afectan áreas acotadas (1–200 m^2), lo que permite generar planes de manejo acordes a la escala de dicha área de intervención y su grado de impacto. Sin embargo, cada rescate es diferente y rara vez los métodos son publicados.

Considerando lo anterior, este trabajo presenta los resultados obtenidos a partir de la ejecución de una propuesta metodológica de rescate paleontológico aplicada durante la construcción de un parque eólico en la comuna de Renaico, región de la Araucanía, Chile, y se compara su rendimiento respecto a la metodología exigida por el CMN. Este caso de estudio resulta de interés debido a las condiciones ambientales/climáticas en las que se realizó (sedimentos hidratados, humedad constante y lluvia), el tiempo acotado de ejecución (aproximadamente un mes) y el volumen de sedimento procesado (ocho toneladas). Además, la cuantificación de los resultados obtenidos nos permite ofrecer una base comparativa para evaluar la efectividad de las técnicas empleadas en futuras labores de rescate.

MARCO TEÓRICO

Métodos de excavación paleontológica

Gran parte de las publicaciones sobre técnicas de campo aplicables en contextos paleontológicos se enfocan en la descripción de la confección de un refuerzo de yeso (camisa de yeso o bochón) (Peterson *et al.*, 1999; Melendi *et al.*, 2009; Bisulca *et al.*, 2014) y la pre-extracción del fósil de la matriz que lo alberga, buscando mantener la integridad del material hasta su llegada al laboratorio. Por su parte, existe abundante literatura enfocada en las técnicas de preparación, conservación, realización de moldes y aplicación de metodologías para diferentes tipos de análisis de restos paleontológicos según los distintos requerimientos de las investigaciones (Davidson, 2003, 2009; Wylie, 2009; Bisulca *et al.*, 2009; Russell y Strilisky, 2016; Isasi y Brisson, 2018; Reuil y Muzzopappa, 2019; Otero *et al.*, 2020; Cerda *et al.*, 2020; Brown y Holliday, 2021).

En lo que respecta a metodologías para la realización de excavaciones, la literatura es mucho menor, destacando el trabajo de Jiménez y Martin de Jesús (1992) que describe diferentes tipos de excavaciones paleontológicas, considerando variaciones en la naturaleza de los estratos y en los elementos fósiles. Estas técnicas incluyen el aislamiento lateral, consistente en la excavación de zanjas verticales a ambos lados y a una distancia prudente del fósil para luego rebajar el espacio entre las zanjas y facilitar la extracción del mismo, minimizando la remoción de sedimentos en el proceso. También se describe el desmonte lateral de planos horizontales, que puede incluir o no la realización de cuadrículas de excavación. Este método se utiliza en niveles fosilíferos para los que se infiere continuidad lateral de los elementos o posible acumulación de elementos asociados, consistiendo en el rebaje de los sedimentos suprayacentes al nivel de interés, con el fin de exponer su techo y ampliar la superficie visible. Esto puede realizarse a diferentes escalas y con uso de maquinaria de ser necesario. Si bien se requiere la extracción de grandes volúmenes de sedimento, este método es ampliamente utilizado durante la extracción de vertebrados de gran tamaño, para lo cual se recomienda la excavación manual del estrato portador y el uso de cuadriculado para el registro de la distribución de los elementos. Una técnica similar utilizada en estratos con alto grado de buzamiento se denomina desmonte de planos inclinados (Jiménez y Martin de Jesús,1992), en la que se extraen las capas superiores para acceder y trabajar de forma manual en el estrato portador.

Como es de esperar, la mayoría de los trabajos disponibles hacen énfasis en la excavación manual y pausada del estrato portador para disminuir el riesgo de daños a los fósiles, junto con el uso de canaletas o zanjas para separar el bloque contenedor del fósil de la matriz (Jiménez y Martin de Jesús, 1992; Maltese, 2009; Isasi y Brissón, 2018). En general, se puede resumir el proceso de excavación de la siguiente forma: 1) detección del elemento a extraer; 2) despeje inicial mediante remoción de sedimentos suprayacentes; 3) delimitación de la extensión del espécimen y el área a excavar; 4) aislamiento del bloque que contiene el espécimen mediante zanjas/canales/cortes; 5) aplicación de elementos de protección para la extracción (*e.g.*, consolidación de superficies, envoltura de yeso o similar); y 6) separación y extracción del bloque que contiene el espécimen. Las principales variantes metodológicas tienen relación con el orden de algunos de estos pasos y la incorporación de pasos adicionales. Por ejemplo, en especímenes sin fisuras o con escaso astillamiento preservados en rocas muy cementadas, la extracción puede realizarse sin aplicar consolidantes o incluso capas de yeso, mientras que el uso de cuadrículas y fotogrametría puede incorporarse durante el proceso para mejorar el registro de la disposición de los elementos en terreno. También es posible añadir muestreos de sedimento o procesamiento *in situ* mediante tamizado, entre otras variaciones.

Marco legislativo para la excavación paleontológica

En Chile, la Ley de Monumentos Nacionales N° 17.288 incorpora el patrimonio paleontológico al quehacer del Estado y crea el CMN, organismo técnico encargado de salvaguardar y regular el manejo del patrimonio nacional. A esta ley se suma el Decreto Supremo N° 484 o Reglamento sobre excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas, que establece los requisitos para realizar intervenciones en estos bienes y las definiciones básicas para el trabajo de campo, como prospección, excavación y sitios de especial relevancia. Así, se establece que la prospección paleontológica es "*el estudio de la superficie de una localidad con el fin de descubrir uno o más sitios (...) paleonto-*

lógicos que pueden incluir pozos de sondeo y/o recolecciones de material de superficie" (Decreto Supremo N° 484, 1990, Artículo 2), mientras que la palabra excavación hace referencia a "*toda alteración o intervención de un sitio (...) paleontológico, incluyendo recolecciones de superficie, pozo de sondeo, excavaciones, tratamiento de estructuras, trabajos de conservación, restauración y, en general, cualquier manejo que altere un sitio*" (Decreto Supremo N° 484, 1990, Artículo 2). Esto implica que, en términos de la legislación, la prospección es un proceso exploratorio que requiere autorización previa por parte del CMN si y solo si este involucra colecta de especímenes, mientras que la excavación es una acción que interviene un sitio paleontológico mediante la remoción de sedimentos o rocas independientemente de la profundidad de la excavación. Este último siempre requiere autorización mediante oficio o permiso emitido por el CMN.

La legislación chilena define los conceptos más amplios relacionados con la práctica paleontológica, como prospección y excavación, y establece los requerimientos formales necesarios para obtener autorización del CMN, sin establecer ni detallar las metodologías que deberán emplearse para la realización de dichas prácticas. En este sentido, la Guía de Informes Paleontológicos (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012; Rincón y Gutstein, 2016) indica con mayor claridad algunas de las metodologías sugeridas para el proceso de excavación, particularmente en el caso de los monitoreos y rescates asociados a proyectos de inversión sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Respecto a la realización de calicatas, la Guía de Informes Paleontológicos (Rincón y Gutstein, 2016) establece una superficie mínima de 3x2 m y una profundidad acorde a las excavaciones proyectadas a realizar durante la ejecución del proyecto. Se solicita la revisión de las paredes de la calicata y el levantamiento de columnas estratigráficas, indicando los niveles de donde provienen los fósiles, si es que los hubiera. No se ofrecen indicaciones específicas en lo que respecta a la extracción de los especímenes. Por su parte, se describe la metodología para el análisis paleontológico de vertebrados obtenidos por lavado-tamizado. Esta metodología para microfósiles de vertebrados (*e.g.*, piezas dentales y fragmentos pequeños de vertebrados) consiste en la extracción de sedimentos no consolidados a partir de la calicata, para luego ser tamizados con agua en tamices de tres luces diferentes (0,5 o 0,7 mm; 2,5 mm y 10 mm). Se establece una muestra inicial de 50 kg por estrato observado en la calicata que, en caso de resultar en un mínimo de cuatro piezas de interés paleontológico, deberá ser ampliada a 200 kg adicionales por estrato. También se ofrecen referencias básicas sobre la forma de construcción recomendada para los harneros.

CASO DE ESTUDIO

Área y contexto del presente estudio

La excavación paleontológica aquí descrita fue realizada en el año 2019 en el marco de la construcción de un parque eólico en la comuna de Renaico, región de la Araucanía, Chile (Fig. 1). Durante la ejecución de las obras se realizaron excavaciones localizadas para las fundaciones de las torres de los aerogeneradores, durante las cuales ocurrió el hallazgo imprevisto de restos fósiles en tres puntos, correspondientes al aerogenerador 11 (AG11), al eje 55 y el aerogenerador 41 (AG41) (Fig. 2). La identificación preliminar de estos hallazgos fue realizada por el equipo de arqueólogos a cargo del monitoreo de las excavaciones para las fundaciones de las torres de los aerogeneradores, dado que no se había implementado monitoreo paleontológico de las obras en un inicio pues no existían antecedentes sobre la existencia de fósiles en el área. Tras reportar el hallazgo y ser verificado por un equipo de paleontólogos, se procedió a tramitar el correspondiente Permiso de Prospección y Excavación Paleontológica ante la autoridad (ORD CMN N° 1245-2019). Posteriormente se iniciaron las labores de monitoreo y rescate paleontológico para la generación de una colección de referencia, a partir de los hallazgos realizados dentro del proyecto.

Los elementos hallados inicialmente corresponden a abundantes valvas de moluscos con distintos grados de preservación, los cuales fueron el principal foco de colecta durante la etapa inicial del rescate. Durante la inspección exhaustiva de una de las paredes de la excavación, se hallaron restos de vertebrados en la fundación del aerogenerador AG41. Tras la identificación de estos restos de vertebrados, inéditos para la zona, se solicitó una ampliación del permiso de excavación paleontológica para la aplicación de una nueva metodología enfocada en la extracción de restos óseos y el tamizado de sedimentos en busca de

microfósiles. Dicha ampliación fue aprobada (ORD CMN N° 2826-2019), ejecutándose la etapa final de rescate entre los meses de julio y agosto del año 2019.

La metodología detallada a continuación corresponde a la aplicada en este punto específico del proyecto, bajo el marco de dicha ampliación. Los horizontes fosilíferos forman parte de una secuencia sedimentaria siliciclástica conformada, de base a techo, por un nivel de arenisca lítica, cuarcífera, fangosa, de color pardo amarillento (E1) y fangolitas grises masivas (E2). Perfiles estratigráficos revisados en los alrededores indican que sobre los niveles E1 y E2 se dispone un nivel de fangolita parda oscura que contienen moldes de invertebrados dulceacuícolas e improntas foliares, denominado nivel E3.

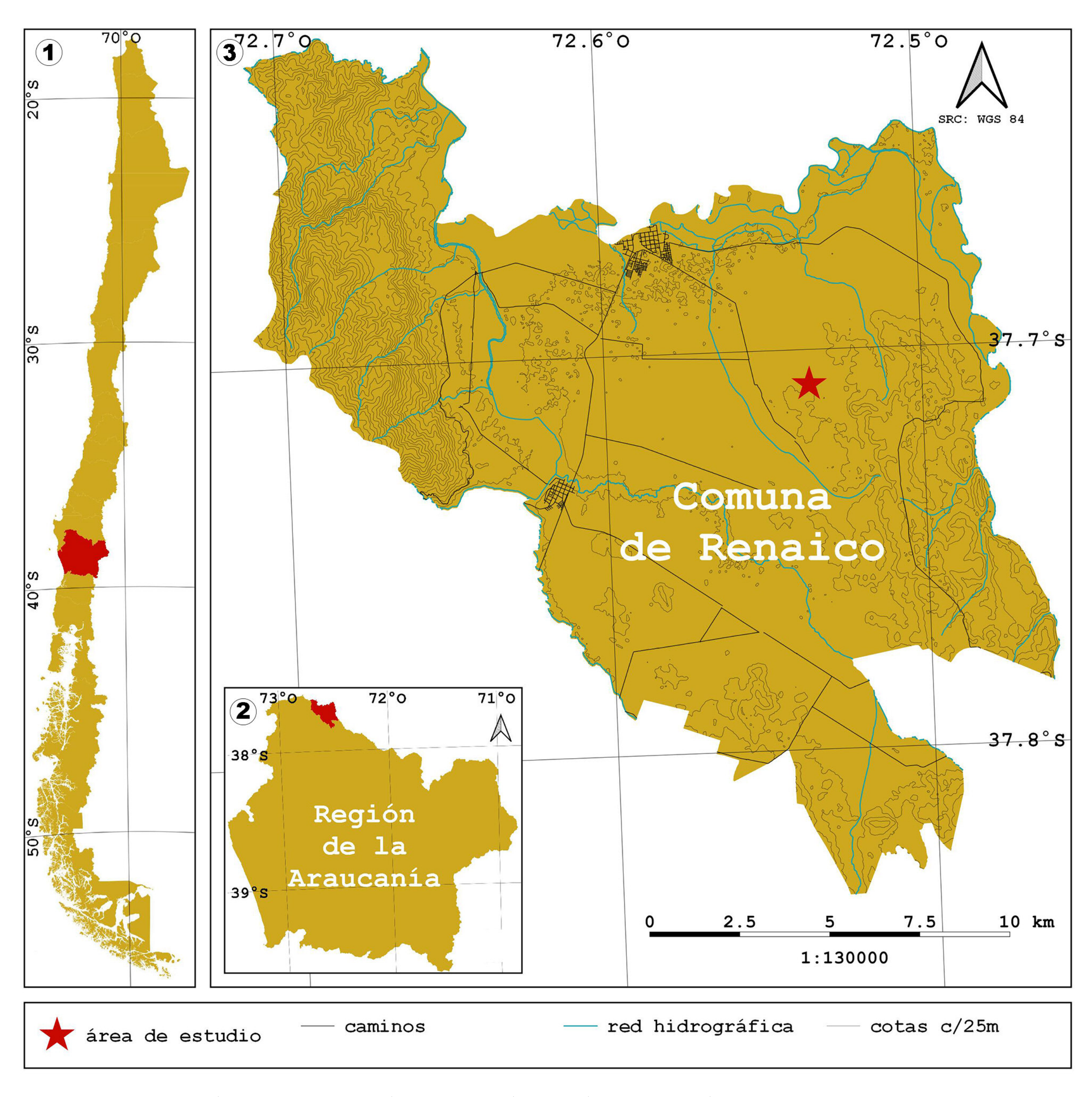


Figura 1. Mapa de ubicación. **1,** Chile, en rojo región de la Araucanía; **2,** Región de la Araucanía, en rojo comuna de Renaico; **3,** Comuna de Renaico, la estrella roja indica el área de estudio.

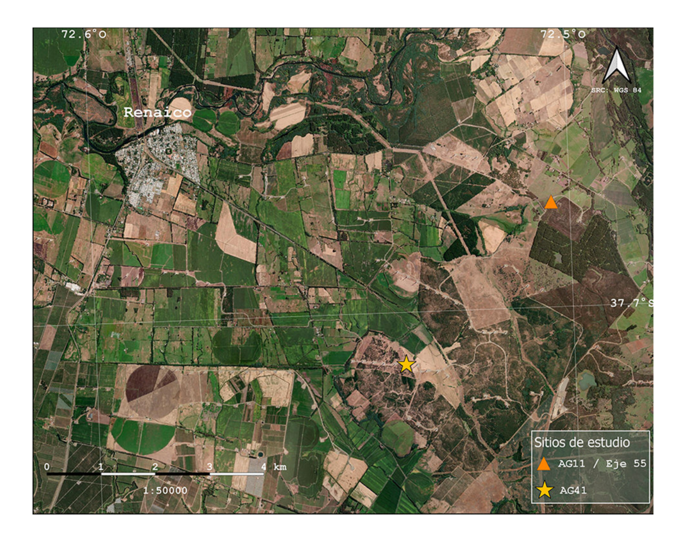


Figura 2. Mapa de ubicación de áreas fosilíferas. Se destaca AG41, sector en el cual se aplicó la metodología planteada (Google Earth, acceso febrero 2023).

La secuencia que se identifica por sobre el nivel E3 es la siguiente: 1) intercalaciones de arcillolita pardo-rosadas y pardas grises; 2) areniscas fangosas pardas amarillentas; 3) areniscas medias pardas oscuras, aparentemente bioturbadas y 4) arcillolitas pardo-rosadas, llegando a techo (Fig. 3).

El nivel E1 posee clastos de tamaño arena media con escasa grava y exhibe una gradación normal en conjunto con laminación ondulada. Su plano general de estratificación es N60O/52NE. Hacia el NO se pueden observar de forma más evidente las variaciones en la arquitectura interna, presentando horizontes con laminación cruzada y laminación paralela intercalada con niveles masivos. Subyace en discordancia por erosión, y aparentemente angular, al estrato portador denominado E2, que corresponde a limolitas grises masivas con aparente gradación normal. Este estrato fue dividido en dos niveles: E2a y E2b.

Los restos fósiles de vertebrados fueron hallados en un intervalo acotado entre los 20–50 cm basales del nivel E2a, el cual subyace a E2b (que es estéril). Entre E2a y E2b se intercala de forma discontinua con un cuerpo sedimentario de morfología irregular (Fig. 3) correspondiente a areniscas fangosas de color gris azulado (EA). Esta intercalación ocurre en el sector más próximo a la fundación del aerogenerador (sector S-SO), pero al observar su continuidad lateral hacia el sector del escarpe del sitio y en dirección NNO–NO se puede observar que EA sobreyace al nivel E1 en un contacto neto y subyace a E2 en contacto erosivo, el cuál es evidenciado por la presencia de *rip up clasts* y una morfología del techo con sinuosidad pronunciada (Fig. 4)

En base a los análisis de litofacies realizados durante y posterior al rescate de los fósiles, se determinó un ambiente continental asociado a sistemas fluviales y posiblemente palustres, lo cual es correlacionable con la Formación Mininco descrita para la zona (Ferraris, 1981; Elgueta y Rubio, 1991). Esta unidad ha sido tradicionalmente asignada al Plio–Pleistoceno. El resto de las secuencias sedimentarias observadas dentro del área de proyecto corresponden a depósitos holocénicos y sedimentos de origen glaciolacustres pleistocénicos.

Herramientas y manejo de la humedad

Los restos fósiles de vertebrados fueron hallados en niveles de fangolitas y areniscas saturados en agua. La presencia constante de agua, producto de las abundantes lluvias que caracterizan la zona, provocó baja visibilidad *in situ* y alta fragilidad de los restos óseos, además de dificultar su manipulación durante los procesos de extracción.

Para el proceso de excavación, se utilizaron mayoritariamente herramientas manuales como palas y espátulas. Con el objetivo de minimizar el riesgo de fractura o rayado de las piezas, durante las fases de excavación de cuadrícu-

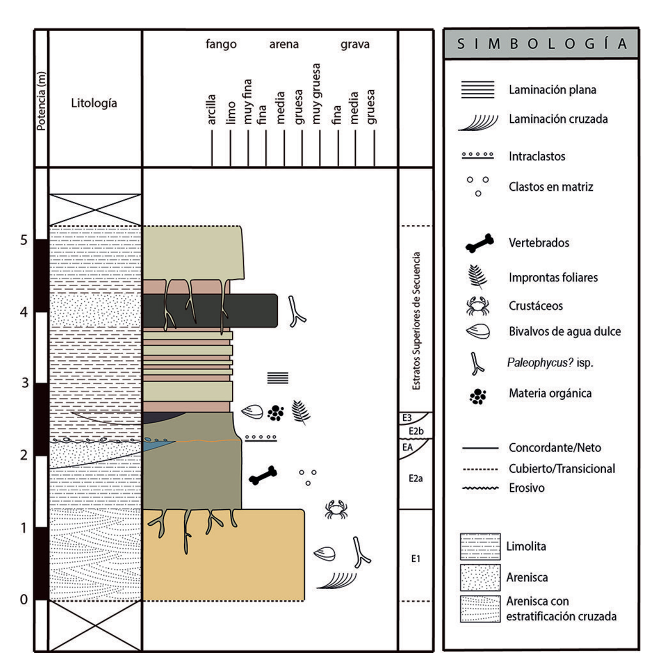


Figura 3. Columna estratigráfica general del área de estudio en base a la correlación de las diferentes columnas estratigráficas locales generadas en la zona de estudio.

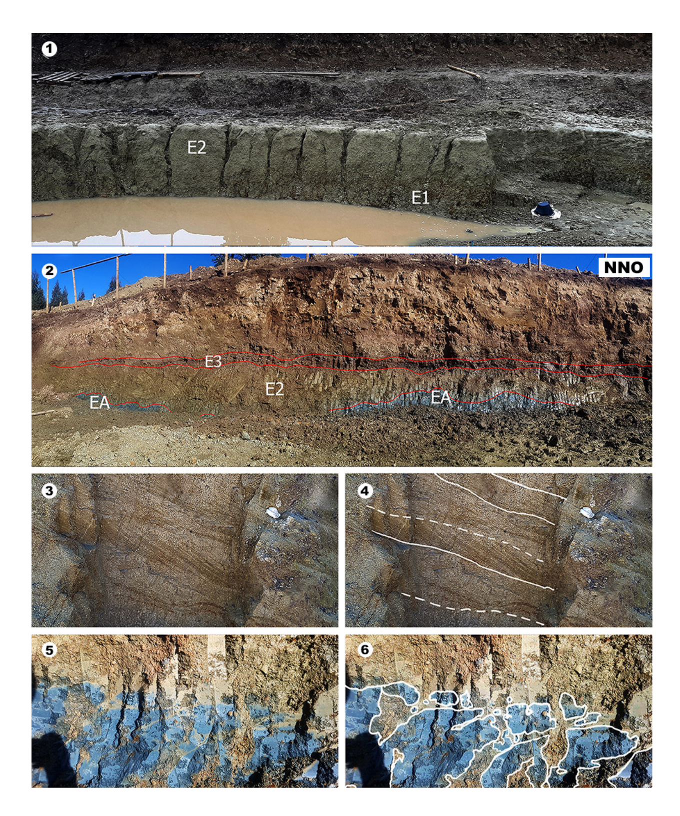


Figura 4. Litologías expuestas en el sitio de trabajo previo y posterior a nivelación del terreno. **1,** fotografía de la zona de trabajo previo a la excavación que eliminó la sección no fosilífera de los sedimentos correspondientes a E2. Se puede observar de forma clara el contacto irregular y angular entre E1 y E2; **2,** perfil expuesto de forma posterior a la nivelación del terreno, que expone de forma clara la morfología y relaciones de contacto entre EA, E2 y E3; **3–4,** fotografía de mayor detalle de E1 en una pequeña excavación realizada en un muro ubicado en la sección NE de la excavación generada para la fundación del AG41. En la sección media de la foto se puede observar laminación cruzada. Los diferentes niveles fueron resaltados en **4**; **5–6,** Fotografía de mayor detalle del contacto entre EA y E2. Se observan fragmentos de EA de morfología irregular inmersos en la base de E2, interpretados como *rip-up clasts* y delineados en **5**.



Figura 5. Sitio de estudio. **1,** Generación de canaletas para drenaje del agua acumulada; **2,** Primeras excavaciones con herramientas de mano y acumulación de sedimentos en sacos.

las se priorizó el uso de herramientas no metálicas (*e.g.*, plástico o madera), utilizando punzones y herramientas dentales en sedimentos más compactados. Las cuadrículas fueron inicialmente demarcadas usando clavos y lienzo de algodón, siendo retirados una vez la cuadrícula quedaba adecuadamente definida por el avance de la excavación.

Considerando las condiciones atmosféricas imperantes durante la época invernal (julio y agosto en el hemisferio sur), se instaló una techumbre temporal de lona para proteger el área de trabajo y una bomba de agua para extraer lo acumulado en la base de la excavación. Para permitir el trabajo en las cuadrículas, se excavaron canales mediante los cuales se drenó el agua empozada en superficie (Fig. 5.1). Durante la fase de extracción de sedimento para tamizado, se utilizaron palas y sacos para el almacenamiento de los sedimentos (Fig. 5.2), asignando códigos a los mismos para mantener el registro de procedencia de cada uno. Para el tamizado se utilizaron cajones de madera terciada de 80x60 cm, dispuestos en forma escalonada sobre listones de 2x2 pulgadas, basados en las indicaciones del anexo de la Guía de Informes Paleontológicos (Rincón y Gutstein, 2016). Cada tamiz tenía la facultad de ser removido de su respectivo cajón, con el propósito de facilitar la recolección de las muestras. La luz utilizada en cada tamiz fue de 6, 4 y 2 mm.

Procedimiento del rescate paleontológico de vertebrados

El rescate paleontológico de vertebrados ocurrió debido a un hallazgo imprevisto por parte de un equipo de arqueó-

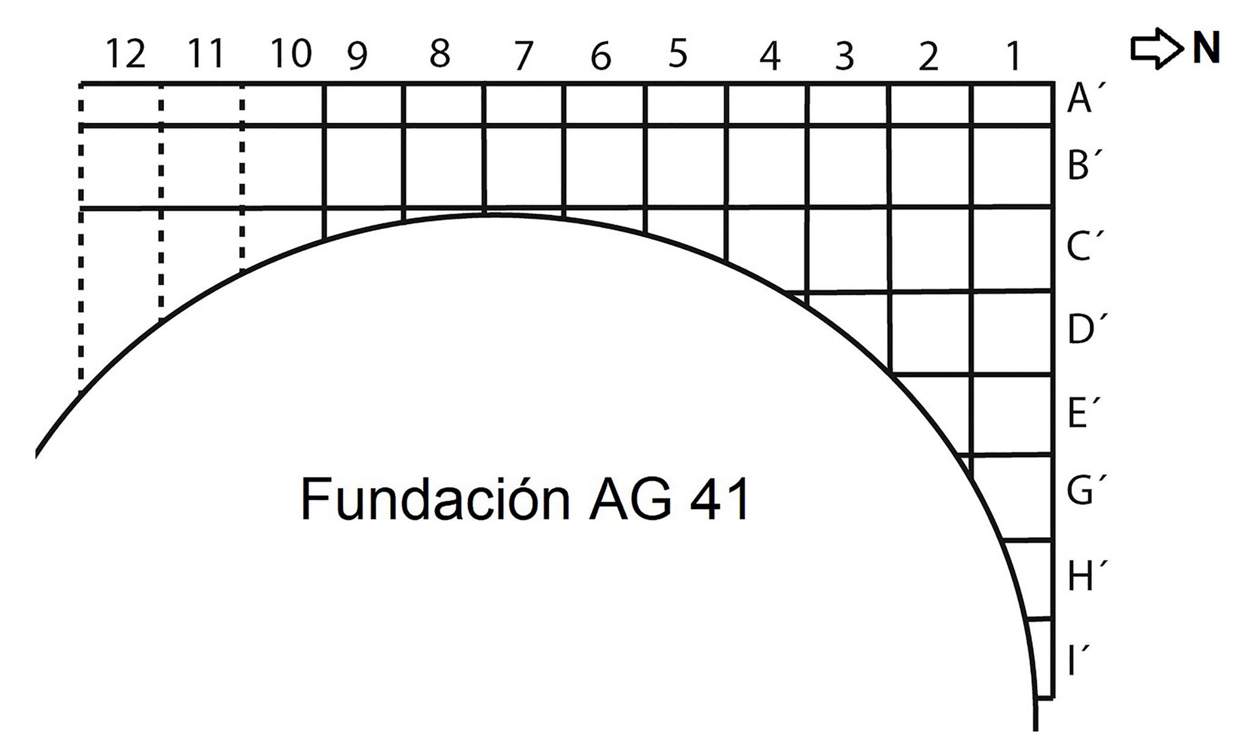


Figura 6. Esquema área de excavación para mayor control e identificación de restos fósiles. Cada cuadrado representa una cuadrícula que fue trabajada.

logos, quienes estaban cargo del monitoreo de las excavaciones para las fundaciones de las torres de los aerogeneradores. Durante estas actividades, los profesionales dieron cuenta de la presencia de invertebrados fósiles (*e.g.*, bivalvos), por lo que, tras reportar el hallazgo, se iniciaron las labores de monitoreo paleontológico antes no consideradas dentro del proyecto de inversión, debido a la baja probabilidad en la zona de presentar estratos fosilíferos. Los monitoreos paleontológicos dieron cuenta de la presencia de fragmentos óseos en el nivel E2, el cual era visible solo en la excavación de AG41. Una vez identificado el estrato portador, se elaboró una propuesta metodológica para un rescate paleontológico exhaustivo.

En este contexto, se propuso realizar una excavación mediante desmonte lateral de planos horizontales con cuadrícula y descenso controlado, de modo de aumentar no solo las posibilidades de hallar elementos *in situ*, sino además de mantener un registro adecuado del avance de la excavación.

Esta metodología se basó en las técnicas utilizadas en excavaciones de sitios arqueológicos y lo postulado por Jiménez y Martin de Jesús (1992), estimándose que sería la estrategia más recomendada para sedimentos no consolidados. Se utilizó este método para mantener un registro



Figura 7. Área donde se realizó rescate paleontológico. **1,** Área con cuadrículas para excavación manual; **2–3,** Excavación manual por equipos asignados a cada una de las cuadrículas.

adecuado de la disposición de los elementos en el estrato portador, permitiendo establecer propiedades tafonómicas del ensamble y llevar un control del avance de las labores de rescate.

Se despejó alrededor de 1 m en dirección hacia la pared con el uso de maquinaria pesada, retirando los sedimentos por encima del nivel E2a para acceder directamente al estrato fosilífero y excavar de techo a base. Esto fue necesario, dado que el estrato portador era visible solo en la pared sur de la excavación y se requería una ampliación del escarpe por encima de esta área para facilitar su excavación en planta. Previamente, se levantó un perfil estratigráfico local que permitió localizar los elementos a rescatar en el eje Z.

Cuadrículas. Para facilitar el registro de los elementos en planta, se definió una grilla de cuadrículas de 2x2 m siguiendo una numeración correlativa con letras y números para las filas y columnas (Fig. 6). Debido a que la excavación de los cimientos era circular, la medida y forma de las cuadrículas en contacto con la pared fue irregular.

Con el fin de mantener un mejor control de las acciones del equipo durante el proceso de la excavación, se asignó una cuadrícula a cada excavador y se realizaron pisos con intervalos de 50 cm (Fig. 7), permitiendo mantener los elementos en posición hasta alcanzar dicho nivel y registrar la distribución de los elementos en planta con fotografías y esquemas. Este último aspecto, que fue de particular importancia para el mapeo, debió ser ajustado en terreno debido a la alta humedad que, en ocasiones, impedía mantener los especímenes *in situ* por el riesgo de alteración o remoción por escurrimiento de agua y fango. En esos casos, se realizó un registro del avance local en la cuadrícula y se extrajo el elemento previo a completar el piso (Fig. 8).

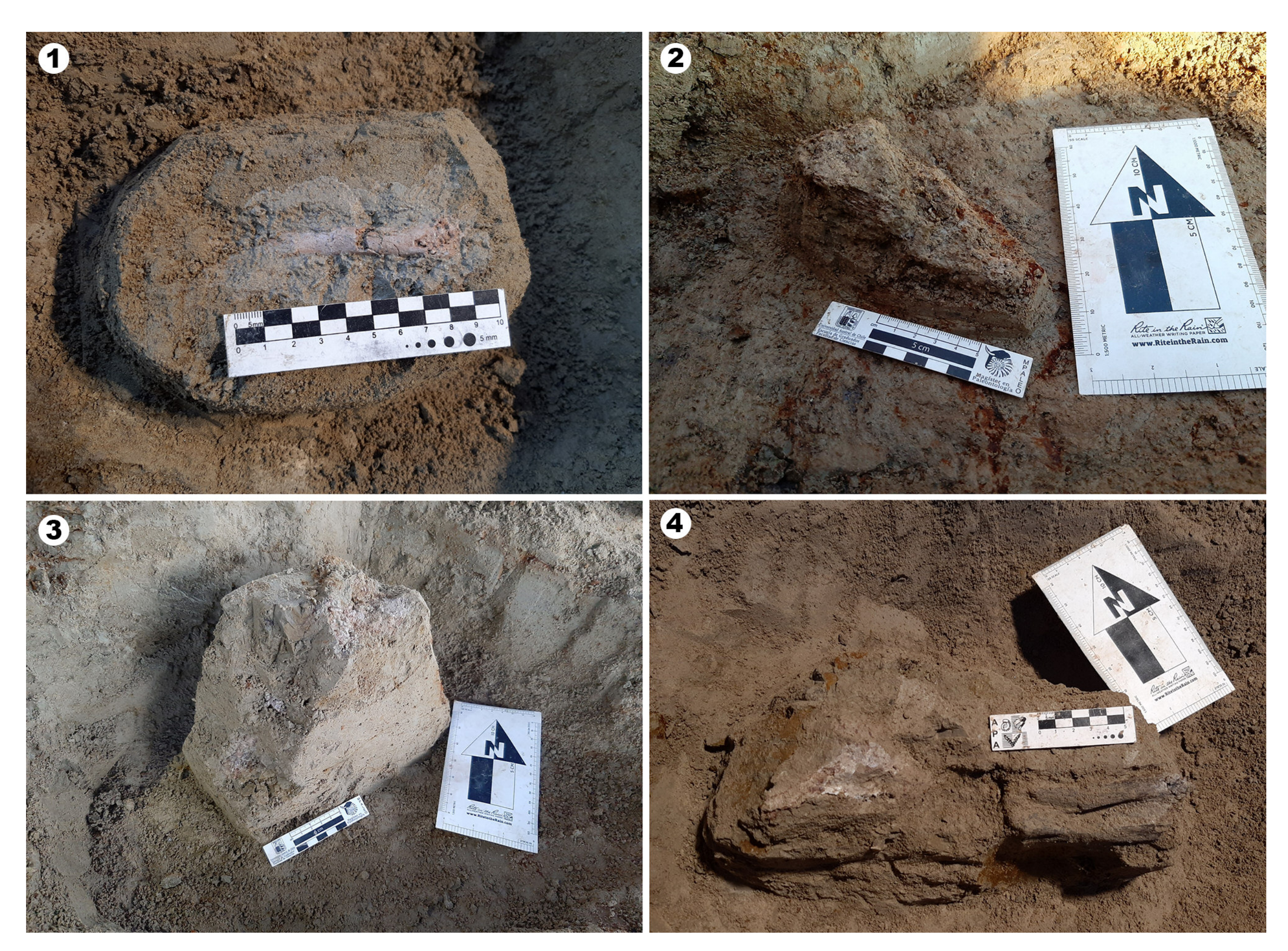


Figura 8. Excavación de fósiles de vertebrados en planta realizada en el marco de rescate paleontológico. **1,** Diáfisis de un Vertebrata indet.; **2,** Epífisis distal de un Vertebrata indet.; **3,** Epífisis proximal inserta en sedimento, asignada preliminarmente a Vertebrata indet.; **4,** Epífisis distal de humero y epífisis proximal de ulna asignada preliminarmente a Mammalia indet.



Figura 9. Diferentes fases para realización de bochón seco. **1,** Limpieza mecánica superficial del material particulado; **2–3,** Puesta de papel higiénico y cinta adherente para generar firmeza en el bloque de sedimento; **4,** Cubierta de film plástico transparente con el fin de otorgar rigidez para el embalaje.

El registro de coordenadas de las piezas colectadas incluyó la profundidad relativa respecto a la base del estrato E2a (medida en relación a la pared) y las distancias respecto a los márgenes de la cuadrícula.

Mientras se trabajaban en las cuadrículas y con el fin de asegurar su rescate íntegro, se utilizó la excavación lateral cada vez que era identificado un espécimen en pared o el aislamiento lateral cuando era detectado en el piso. Para el aislamiento de la pieza junto con el sedimento inmediatamente circundante, se hicieron canales alrededor o se rebajó el sedimento desde el techo hasta el punto donde se encontraba el fósil. Una vez aislado, el elemento era registrado y mantenido en posición, permitiendo su secado/deshidratación parcial previo a la extracción. A continuación, se describen algunas técnicas utilizadas para la extracción del material fósil.

Bochón seco. Dadas las condiciones de humedad del sitio, el uso de técnicas tradicionales como la camisa de yeso para la extracción fue descartada, debido a la dificultad de que el yeso fragüe (endurezca) en condiciones de alta humedad. El uso de poliuretano expandido también fue descartado, dado que su uso se recomienda cuando la humedad ambiente es menor al 85%, tiene baja adhesividad sobre superficies húmedas y al secarse puede seguir expandiéndose por largo tiempo, produciendo presión sobre el bloque en su interior y potencialmente facilitando la aparición de grietas de desecación durante el secado del mismo. Por estas razones, se aplicó un método de envolturas secas (bochón seco o *dry wrap*) que pudieran mantener la cohesión del sedimento durante la extracción. Este método consiste en aplicar consolidante al sedimento que rodea al fósil posterior a su aislamiento y secado inicial del bloque. Como consolidante se utilizó Paraloid B-72 al 10%, en alcohol (95%) como solvente. Si bien este consolidante tiene dificultades en permear sedimentos hidratados, la capa formada en superficie ayuda a reforzar las áreas expuestas y puede ser posteriormente removido con el uso del mismo solvente de la mezcla (alcohol). Cabe indicar que el consolidante reversible más recomendado para elementos porosos húmedos es Primal® (Rhoplex) WS 24. Sin embargo, éste no se encuentra disponible en Chile. Una vez que el consolidante dejó de ser adhesivo al tacto, se rellenaron los espacios vacíos con papel *tissue*, el cual fue también utilizado para envolver el bloque en capas concéntricas. Para aislar el bloque del exterior y facilitar su transporte, se envolvió en film plástico transparente (tipo *stretch*), utilizando cinta de enmascarar y adhesiva (*masking tape* y cinta gris) para unir las bandas de material y ceñirlo al bloque (Fig. 9). Esta cubierta permitió desprender el bloque desde la base y transportarlo, cerrándose por la cara opuesta.

Tamizaje de sedimento. Teniendo en cuenta la probable existencia de restos paleontológicos no detectados a simple vista durante la excavación, se estableció que el sedimento circundante a los especímenes fuera almacenado transitoriamente en sacos de 25 kg para su posterior tamizado, recolectando aproximadamente un total de 100 kg por hallazgo realizado. Una vez excavada el área y agotado el estrato portador, se procedió a iniciar el tamizaje de los sedimentos mediante la metodología estándar de lavado-tamizado (Rincón y Gutstein, 2016). Para ello, cada saco de muestra fue vertido en baldes de 12 l a los que se añadió agua para disgregar el sedimento, privilegiando una inmersión prolongada para una mayor hidratación y, por ende, mayor friabilidad.

Antes de verter el sedimento hidratado en la pila de tamices, cada balde fue examinado de forma manual con el fin de disgregar mejor el sedimento y rescatar elementos de mayor tamaño (Fig. 10.1). Posteriormente, se recuperaron algunas piezas por flotación, mediante la incorporación de agua en los baldes con sedimento (Fig. 10.2–3). Este método suele permitir rescatar restos de insectos y plantas que debido a su peso suelen flotar y que, a su vez, suelen ser muy frágiles como para sobrevivir al proceso de tamizaje.

Para el tamizaje, se colocó el sedimento de forma gradual en el primer tamiz y se lavó con agua a presión variable. La presión del agua arrastró el sedimento desde el primer cajón hasta el último, pasando por los tres tamices de luces descendentes (6 mm, 4 mm y 2 mm), proceso que separa la muestra basándose en su granulometría (Fig. 10.4). Debido a que la matriz consistía de sedimentos limosos con escasos clastos, la fracción de materiales retenidos en el primer tamiz fue menor, siendo el segundo y tercer tamiz los que generaron la mayor parte del material resultante. Estos remanentes fueron extendidos en lonas y colocados al sol, con la finalidad de secarlos y realizar el proceso inicial de triado, es decir, rescate de restos fósiles a partir de las fracciones de remanentes obtenidas con el tamizaje (Fig. 11). Tras una primera revisión en terreno, los remanentes fueron colocados en bolsas plásticas rotuladas y pesados, con el fin de realizar un último triado en laboratorio.

RESULTADOS

La excavación del nivel E2a en el área de intervención directa de AG41 permitió el rescate de 82 elementos fósiles,



Figura 10. Proceso de tamizaje. **1,** Revisión del sedimento depositado en baldes de forma manual; **2–3,** Vertido lento y flotación por medio de presión del agua a través de manguera; **4,** Sedimento vertido en tamices, seleccionándose granulométricamente.

Figura 11. Proceso de triado de sedimentos tamizados. **1,** Sedimento correspondiente a harneros 2 y 3 secándose en instalación dispuesta por ACCIONA ENERGÍA CHILE SPA; **2–3,** Revisión exhaustiva de triado correspondiente a harneros 2 y 3.

los cuales fueron posteriormente preparados y conservados en laboratorio. La mayor parte de estos corresponden a restos óseos, seguido por invertebrados y restos vegetales (Fig. 12).

Casi la totalidad de los elementos rescatados fueron hallados en proximidad a la pared de la excavación de los cimientos, restringiendo los hallazgos a las columnas 2 a 8 y las filas B´ a E´ (Fig. 13). Estratigráficamente, los vertebrados fueron hallados inmersos en la matriz en la base de E2a, cercanos o en contacto con E1, nivel que contenía invertebrados fósiles correspondientes a bivalvos dulceacuícolas (Fig. 14). Los vertebrados corresponden a mamíferos conti-

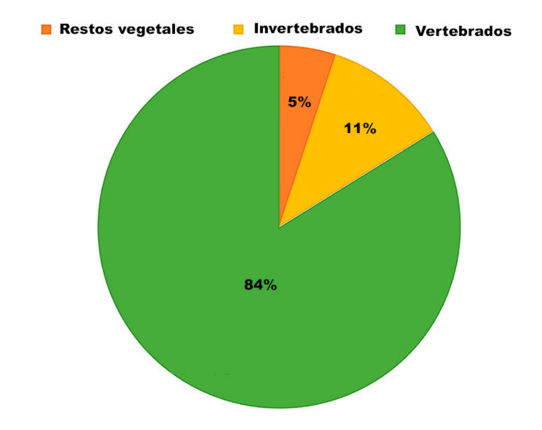


Figura 12. Tipo de fósiles rescatados del área de influencia directa para la construcción de AG41.

nentales, cuya determinación taxonómica se encuentra en estudio. Dado que no es el objetivo del presente estudio, no se ahondará al respecto.

Los restos de vertebrados presentan fragmentación, correspondiendo a elementos aislados e incompletos, la mayoría de los cuales se encontraban orientados E/O ó N/S, siempre desarticulados pero ocasionalmente formando pequeñas agrupaciones locales. Estas características tafonómicas, sumadas al contexto sedimentario, sugieren que se trataría de materiales transportados por un flujo de mediana potencia con gradación normal, lo que llevó a que los elementos óseos se concentren hacia la base del flujo en el contacto con E1.

Mediante el uso de envolturas secas, fue posible extraer con éxito los elementos detectados *in situ* y preparar en laboratorio (incluyendo deshidratación progresiva, consolidación con Paraloid B-72, encerado y replicado). Esta etapa de preparación y conservación inicial duró seis semanas con un preparador a tiempo completo, más tres semanas para el proceso de embalaje de las muestras para su entrega a la institución depositaria.

Para el presente proyecto, el total de sedimento sometido a tamizaje fue de 8.009 kg, correspondientes en su gran mayoría al estrato portador E2a (7.470 kg), pero incluyendo también muestras de E2b (365 kg) y EA (174 kg) para evaluar la presencia de fósiles, pero sin que se recuperaran especímenes en dichas unidades.

Como era de esperarse, el estrato portador E2a resultó positivo a la presencia de vertebrados mediante el análisis por lavado-tamizado (Rincón y Gutstein, 2016), recuperando un mayor número de elementos en los sedimentos asociados a especímenes hallados *in situ* (Fig. 15).

Los fósiles recuperados mediante tamizaje corresponden al 0,001% del peso total de los sedimentos del estrato E2a, que a su vez representa el 24% del total de restos rescatados durante todas las labores de rescate paleontológico. La mayoría de los elementos recuperados durante el tamizaje resultaron de bajo valor taxonómico, dada la imposibilidad de ser clasificados por su alto grado de fragmentación, de las cuales solo el 30% pudieron ser reconocidas anatómicamente. En comparación, la excavación manual permitió la identificación anatómica del 70% los elementos recuperados. En este sentido, si comparamos el

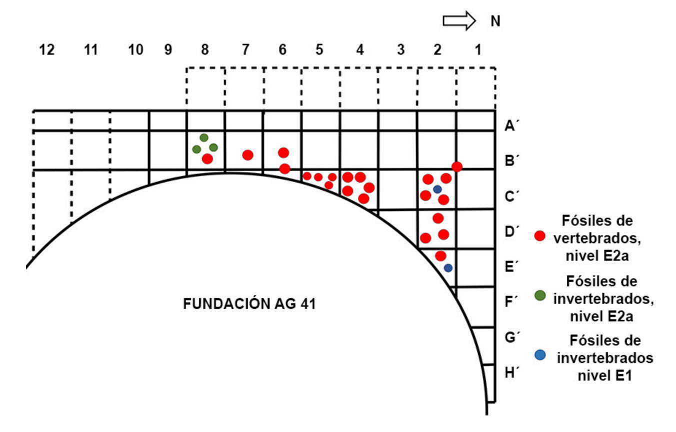


Figura 13. Mapa del área total de excavación y disposición de restos fósiles en el área de intervención directa para la construcción de AG41.

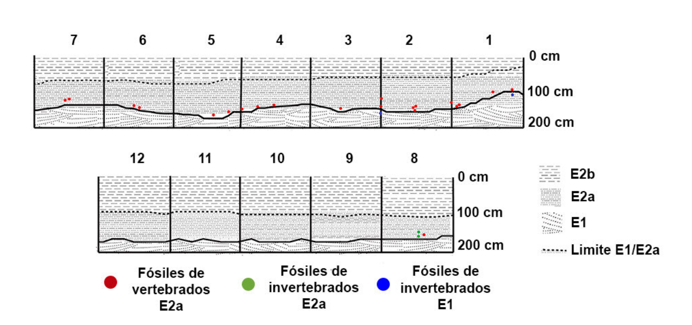


Figura 14. Vista de perfil O de la excavación. Se indica la disposición de fósiles en profundidad con relación a las áreas dispuestas para la excavación.

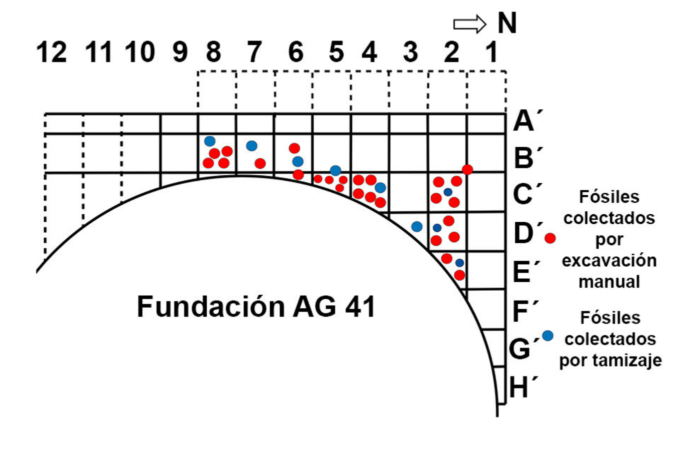


Figura 15. Disposición de los fósiles obtenidos en etapa de tamizaje en relación a aquellos fósiles recuperados en etapa de excavación.

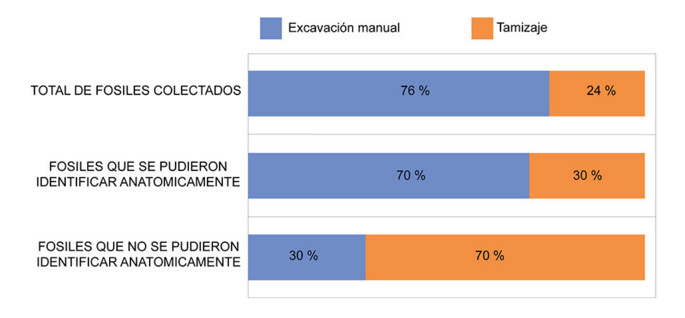


Figura 16. Porcentaje de fósiles rescatados e identificados anatómicamente según el método de extracción de excavación manual y tamizaje.

número de fósiles recolectados por medio de la extracción manual *versus* tamizaje, podemos establecer que el primer método arrojó mejores resultados en términos de cantidad y calidad de los especímenes recolectados (Fig. 16).

CONCLUSIONES

El presente trabajo ofrece un marco general sobre la implementación de rescates paleontológicos en Chile y brinda como ejemplo una excavación implementada durante un monitoreo ambiental, que permitió la identificación de una nueva localidad con vertebrados fósiles continentales. Algunas de las mayores dificultades encontradas durante el proceso tuvieron relación con las condiciones climáticas y la alta saturación de agua de los sedimentos, pese a lo cual fue posible realizar una excavación mediante desmonte lateral de planos horizontales con cuadrícula y lavado-tamizado de los sedimentos, junto con la extracción de bloques pequeños mediante envolturas secas. Esto nos permitió relevar información importante respecto a la distribución de los especímenes, que contribuyen a entender la formación del depósito fosilífero.

A partir de los datos obtenidos en este caso de estudio, consideramos que es vital dar a conocer y generar nuevas metodologías complementarias de excavación frente a hallazgos imprevistos que permitan mejorar las estrategias de base exigidas por el CMN, especialmente en zonas que han sido consideradas como estériles en términos paleontológicos o de baja susceptibilidad. En primer lugar, resulta deseable que se establezcan monitoreos paleontológicos en áreas para las cuales los antecedentes bibliográficos son insuficientes, para poder determinar su potencial fosilífero. Este fue el caso para el área en estudio, dado que los mapas geológicos disponibles solo indicaban la existencia en superficie de suelo agrícola, lo cual no permitía tener certeza sobre los niveles presentes en el subsuelo.

En este sentido, es también importante señalar la importancia del equipo de profesionales que realiza las labores de monitoreo y rescate, dadas las dificultades de reconocer e interpretar hallazgos completamente imprevistos como fue el caso de los vertebrados en esta localidad. Para la Formación Mininco a la que se atribuyen los hallazgos, solo existen menciones de restos fósiles de vegetales y bivalvos dulceacuícolas (Ferraris, 1981), siendo el hallazgo de estos últimos los que dieron la alerta inicial al equipo arqueológico. La detección de los restos óseos de vertebrados continentales solo fue posible tras el hallazgo de múltiples fragmentos y una acuciosa revisión por parte de los paleontólogos a cargo. Así también, consideramos esencial contar con personal con adecuada experiencia técnica, teórica y práctica en paleontología, que sea capaz de diseñar una adecuada propuesta metodológica para el trabajo de campo, así como de ajustarla en base a las realidades que se presentan durante su aplicación. En este último aspecto, la labor del CMN es también relevante, teniendo en cuenta que es la entidad que otorga los permisos de excavación en base tanto a las propuestas como al currículum del equipo profesional.

En segundo lugar, podemos identificar algunas recomendaciones que creemos permitirán mejorar los procedimientos de rescate y metodologías de campo en el contexto de monitoreo ambiental. Dado que la excavación *in situ* tuvo mejores resultados que el procedimiento de tamizaje propuesto, recomendamos utilizar excavación manual con control estratigráfico para intervenciones en áreas acotadas de hasta 200 m² y sedimentos no consolidados. Si bien esta recomendación puede parecer superflua, el estándar presentado en la Guía de Informes Paleontológicos (Rincón y Gutstein, 2016) solo establece el tamaño de la calicata e instruye a recabar información solo a partir de las paredes, por lo que en la práctica no suelen establecerse pisos de descenso durante la excavación ni una búsqueda activa de restos durante dicha etapa. Consideramos que establecer pisos de control cada 50 cm durante la excavación de sitios o calicatas, así como el uso de cuadrículas, son mejoras metodológicas simples que pueden ayudar al registro y organización de las mismas. Por otro lado, la metodología

estándar requerida por CMN asociada a las actividades de tamizaje (Rincón y Gutstein, 2016) aportó un 24% de los elementos rescatados. Sin embargo, se procesó un volumen de sedimentos 30 veces superior, siendo todos los elementos recuperados considerados de bajo valor taxonómico, dado que no poseían características que permitieran su identificación anatómica. Por lo tanto, no cumplieron con los criterios establecidos en dicha metodología para considerar el muestreo como positivo. En la metodología sugerida por el CMN, un muestreo positivo significa detectar "*dientes o cualquier otra pieza de valor taxonómico*" (Rincon y Gutstein, 2016, p. 20) en una proporción de cuatro elementos en 50 kg de sedimento. En consecuencia, si se hubiese aplicado solo este método, es posible que el área se hubiera considerado de bajo valor patrimonial. No obstante, aplicar el tamizaje complementariamente a una excavación manual aumenta las probabilidades de recuperar elementos que pudieran pasar desapercibidos.

AGRADECIMIENTOS

A ACCIONA ENERGIA CHILE SPA por su responsabilidad en el cuidado del patrimonio paleontológico. Al área de Patrimonio Natural del Consejo de Monumentos Nacionales por su gestión. A los revisores del articulo por sus comentarios y propuestas con el fin de mejorar el presente trabajo.

REFERENCIAS

Bisulca, C., Kronthal, L. y Davidson, M. (2009). Consolidation of fragile fossil bone from Ukhaa Tolgod, Mongolia (Late Cretaceous) with conservare OH100. *Journal of the American Institute for Conservation*, *48*(1), 37–50. https://doi.org/10.1179/019713609804528098

Brodersen, K. P., Brook, S. J., Langdon, P. G. y Heiri, O. (2008). The Identification and Use of Palaearctic Chironomidae Larvae in Palaeoecology. QRA Technical Guide No. 10. *Journal of Paleolimnology*, *40*, 751–753. https://doi.org/10.1007/s10933-007-9191-1

Brown, M. y Holliday, C. (2021). Non-traditional applications of fire in fossil preparation. *Palaeontologia Electronica*, *24*(2), a22. https://doi.org/10.26879/1149

Cerda, I., Pereyra, M., Garrone, M., Ponce, D., Navarro, T., González, R., Militello, M., Luna, C. y Jannello, J. (2020). A basic guide for sampling and preparation of extant and fossil bones for histological studies. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, *20*(1), 15–28. http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.07.04.2020.314

Chechi, F. (2020). Algunas consideraciones sobre las técnicas de excavación arqueológica en obras de construcción. *Práctica Arqueología*, *2*(2), 1–13.

Davidson, A. (2003). Preparation of a fossil dinosaur. En V. Greene, D. Harvey y P. Griffin (Eds.), *Objects Specialty Group Postprints, Volume Ten* (pp. 49–61). The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works Editors.

Davidson, A. (2009). A mini-seminar on adhesives for fossil preparation. En M. A. Brown, J. F. Kane y W. G. Parker (Eds.), *Methods in Fossil Preparation: Proceedings of the First Annual Fossil Preparation and Collections Symposium* (pp. 111–122). University of Nebraska.

Decreto Supremo N° 484 de 1990 [Ministerio de Educación]. *Reglamento sobre excavaciones y/o prospecciones arqueológicas, antropológicas y paleontológicas*. 28 de marzo de 1990.

Elgueta, S. y Rubio, X. (1991). Estratigrafía del Terciario del Sector Occidental de la Depresión Central entre los 37° y 38° S, Chile. *Resúmenes expandidos del VI Congreso Geológico Chileno* (pp. 723–727). Santiago.

Faegri, K. e Iversen, J. (1989). *Textbook of pollen analysis*. John Wiley & Sons Ltd.

Ferraris, F. (1981). Mapas geológicos preliminares de Chile. Hoja Los Ángeles-Angol, Región del Biobío, escala 1: 250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Fouquet, N., Mourgues, A., Oyanadel-Urbina, P. A. y Chávez Hoffmeister, M. (2018). Consultoría: ¿Herramienta de financiamiento para la investigación paleontológica? *Resúmenes del I Congreso Chileno de Paleontología* (pp. 1–375). Punta Arenas-Torres del Paine.

Frew, C. (2014). Coring Methods. En S. Cook, L. Clarke y J. Nield (Eds.), *Geomorphological Techniques (Online Edition)*. British Society for Geomorphology.

Gallardo, F. y Cornejo, L. (1986). El diseño de la prospección arqueológica: un caso de estudio. *Revista Chungara*, *16*(17), 409–420.

Green, O. (2001). *A manual of practical laboratory and field techniques in paleobiology*. Springer Science & Business Media.

Isasi, M. y Brissón, F. (2018). Técnicas paleontológicas. *Ciencia Hoy*, *27*(159), 59–64.

Jiménez, F. y Martin de Jesús, S. (1992). Sobre las técnicas de excavación paleontológica y sus variantes. *Actas de las VI Jornadas de Paleontología* (pp. 113–119). Madrid.

Ley 17.288 de 1970. *De monumentos nacionales y normas relacionadas*. 27 de enero de 1970. D.O. del 4 de febrero de 1970. https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/ley_2019_web.pdf

Melendi, D. L., Scafati, L., Volkheimer, W. y Chávez, R. (2009). Técnicas extractivas y preparativas en Paleontología: Aspectos ambientales y de seguridad laboral. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, *11*(1), 107–129.

Maltese, A. (2009). Difficult excavation and preparation of a large *Daspletosaurus* specimen. En M. Brown, J. Kane y W. Parker (Eds.), *Methods in Fossil Preparation: Proceedings of the First Annual Fossil Preparation and Collections Symposium* (pp. 63–68). University of Nebraska.

Martel-Cea, A., Astorga, G., Hérnandez, M., Caputo, L. y Abarzúa, A. (2021). Modern Chironomids (Diptera: Chironomidae) and the environmental variables that influence their distribution in the Araucanian lakes, south-central Chile. *Hydrobiologia*, *848*, 2551–2568. https://doi.org/10.1007/s10750-021-04575-0

Morín de Pablos, J., Malalana, A. y Sánchez, I. (2014). Metodología arqueológica: prospección, excavación, investigación, difusión y divulgación. En J. Morin de Pablos (Ed.), *Los paisajes culturales en el valle del Cigüela* (pp. 15–49). Auditores de Energía y Medio Ambiente S. A.

Otero, A., Pérez Moreno, A., Falkingham, P., Cassini, G., Ruella, A., Militello, M. y Toledo, N. (2020). Three-dimensional image surface acquisition in vertebrate paleontology: a review of principal techniques. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*,

20(1), 1–14. http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.04.04.2020.310

Peterson, R., D'Andrea, N. y Heckert, A. (1999). The rondan jacket support clamp and jacket transport sled. En Lucas, S. (Ed.), *New Mexico's fossil record 2. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin No.16*. (pp. 277–284). New Mexico Museum of Natural History.

Palacios, E. (2020). *Guía de procedimientos arqueológicos*. Consejo de Monumentos Nacionales, Ministerio de la Artes, Cultura y Patrimonio, Gobierno de Chile. https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/libros/guia-procedimiento-arqueologico

Reuil, S. y Muzzopappa, P. (2019). 3D Cast from natural molds: A case study in fossil frogs. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, *19*(1), 1–6. http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.14.04.2019.280

Rincón, I. y Gutstein, C. (2016). *Guía de informes paleontológicos*. Consejo de Monumentos Nacionales, Ministerio de la Artes, Cultura y Patrimonio, Gobierno de Chile. https://www.monumentos.gob.cl/publicaciones/cartillas-folletos/guia-informes-paleontologicos

Russell, R. y Strilisky, B. (2016). Keep it together: An evaluation of the tensile strengths of three select adhesives used in fossil preparation. *Collection Forum*, *30*(1), 85–95.

Servicios de evaluación ambiental. (2012). Guía de Evaluación de impacto ambiental Monumentos Nacionales pertenecientes al patrimonio cultural en el SEIA. Chile. Recuperado el 13 de agosto de 2022 de https://sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/guias/guia_monumentos_060213.pdf

Schávelzon, D. (2015). *Manual de arqueología urbana: Técnicas para excavar Buenos Aires*. Centro de Arqueología Urbana, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

Whitlock, C. y Larsen, C. (2001). Charcoal as a proxy fire. En J. Smol, H. Birks y W. Last (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators, vol 3*. (pp. 75–97). Kluwer Academic Publishers.

Wright, H., Mann, D. y Glaser, P. (1984). Piston corers for peat and lake sediments. *Ecology*, *65*(2), 657–659. https://doi.org/10.2307/1941430

Wylie, C. (2009). Preparation in action: paleontological skill and the role of the fossil preparator. En M. A. Brown, J. F. Kane y W. G. Parker (Eds.), *Methods in Fossil Preparation: Proceedings of the First Annual Fossil Preparation and Collections Symposium* (pp. 3–12). Petrified Forest.

doi: 10.5710/PEAPA.26.03.2023.445

Recibido: 14 de octubre 2022
Aceptado: 26 de marzo 2023
Publicado: 26 de julio 2023